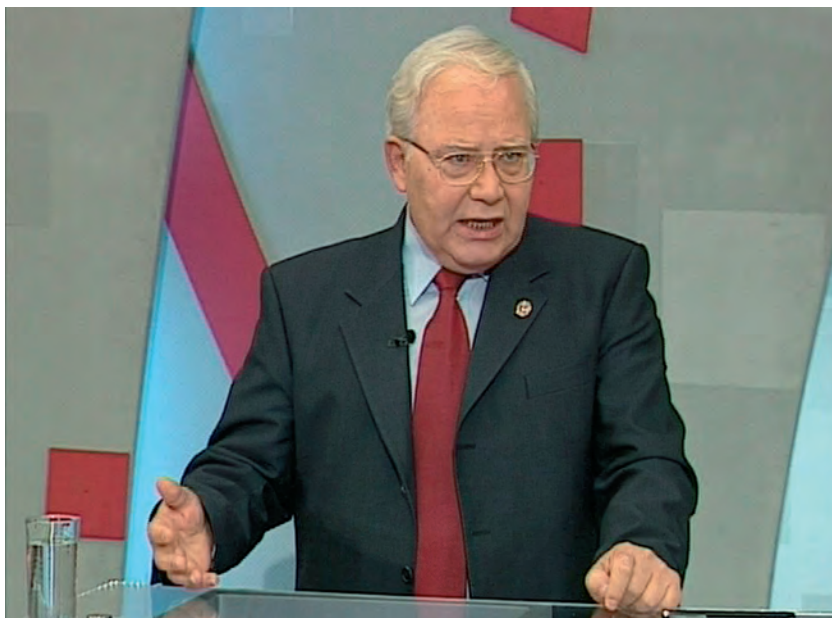


# MESKÓ ATTILA

## A földi élet fenntarthatóságának kérdései



*Meskó Attila  
geofizikus, egyetemi tanár  
az MTA főtitkára*

Az emberiség jelenleg nem fenntartható módon tevékenykedik: ahogyan most élünk, termelünk és fogyasztunk, az hosszú távon nem folytatható. Nem tartható fenn az erőforrások elhasználásának üteme, a környezet állapotának romlása és a gazdasági egyenlőtlenségek növekedése. A 21. században az emberiség halaszthatatlan feladata az, hogy ezen változtasson. Mi a jelenlegi helyzet, hol vannak tudásunk határai, és mit tehetünk? Az előadás a számos probléma közül kiemel néhány aktuális kérdést: az ózoncsökkenést, a globális felmelegedést, a gyors klímaváltozás lehetőségét, valamint a katasztrófák elkerülését és az energia biztosításának nehézségeit.

## Mit jelent a fenntarthatóság?

A fenntarthatóság azt jelenti, hogy biztosítani tudjuk az emberi szükségleteket a jelenben, ugyanakkor képesek vagyunk megőrizni a környezetet és a természeti erőforrásokat a jövő generációk számára. Az utóbbi évtizedekben egyetértés alakult ki abban, hogy a fenntartható fejlődés (vagy helyesebben a fenntarthatóság) három alappillére a következő:

1940-ben született Budapesten. Tanulmányait az ELTE Természettudományi Karán végezte 1959 és 1964 között. 1969-ben a műszaki tudományok kandidátusa, 1977-ben akadémiai doktora lett; 1990-től az MTA levelező, majd 1995-től rendes tagja; 1999–2005 között az MTA főtitkárhelyettese, 2005 májusától az MTA főtitkára.

Pályáját 1964-ben az MTA Szeizmológiai Observatóriumában kezdte. 1967–1968-ban posztdoktori kutatómunkát végzett angol egyetemeken. 1970–1971-ben Houstonban (Texas, US) a Texas Instruments cégnél a geofizikai adatfeldolgozásban alkalmazott számítógépekkel foglalkozott. Konzultáns, majd igazgatói tanácsadó volt a Geofizikai Kutató Vállalatnál, ahol részt vett a digitális feldolgozás hazai meghonosításában.

1973-tól oktató az ELTE TTK Geofizikai Tanszékén, 1980-tól egyetemi tanár, 1984-től bevezette az angol nyelvű oktatást külföldi hallgatók számára. Több tudományos folyóirat szerkesztőbizottsági tagja. Az MTA Elnökségi Környezettudományi Bizottságának és a Kormányzati Koordinációs Bizottság Tudományos Tanácsának elnöke, az OTKA alelnöke.

Főbb kutatási területe: a földtani adatok számítógépes feldolgozása és értelmezése.



*Ma még a fa is jelentős energiaforrás*

- a gazdaság (ipar, mezőgazdaság, energetika, közlekedés) fenntartható működtetése;
- a társadalmi viszonyok (politikai rendszerek, nemzetközi jogi és gazdasági rendszerek) elfogadható, rugalmas és önkorrekcióra képes formáinak megvalósítása; és
- a környezet és a természeti erőforrások megőrzése.

A cél az emberhez méltó élet biztosítása mindenki számára. Ennek eszköze a gazdaság, feltétele a természet (környezet) és az erőforrások megőrzése. A fenntarthatóság fogalmának kialakulásáról, a környezetvédelem és a fenntartható fejlődés kapcsolatáról szólt Láng István előadása (ME 1. köt. 147–158. p.).

A szükségletek között az első helyen szerepel az ivóvíz, az élelmiszer és az energia. Sok helyen óriási gond az ivóvíz megszerzése, primitív módszerekkel művelik a földet. Kétmilliárd ember táplálkozása igen szegényes, nyolcszázmillió éhezik. Mint Horn Péter mondta előadásában (ME 2. köt. 19–38. p.): „Szomorúan kell tapasztalnunk, hogy újabban a közepesen gazdag és a gazdag országokban is – a szociális hálók gyengülése folytán – számottevően nőtt az alultápláltak száma. Ez alól hazánk sem kivétel.”

Az emberiség egyharmadának ma is egyetlen energiaforrása a fa. Az igény a következő ötven évben valószínűleg meg fog duplázódni.

## Miért éppen most kezdünk a fenntarthatósággal foglalkozni?

Joggal tehető fel a kérdés: miért nem elegendő a gazdasági és társadalmi fejlődéssel foglalkozni? Miért fontos a fenntarthatóság?

Margot Wallström, az Európai Unió környezettel foglalkozó főbiztosa

*A Föld lakóinak egyharmada vízhiánnyal küzd*



így válaszolt ezekre a kérdésekre a *Veszélybe kerültek az életet fenntartó rendszerek* című, neves társszerzőkkel írt cikkében: „Az elmúlt (20.) század jelentős fejlődést hozott. Az emberiség létszáma fél évszázad alatt több mint kétszeresére nőtt. Az átlagos élettartam növekedett, számos betegség gyógyítható. Az emberiség létszámának növekedésénél valamivel gyorsabban nőtt az élelmiszer-termelés, sokkal gyorsabban növekedett az energia előállítása és a világ gazdaság teljesítménye. A most már hatmilliárdnál nagyobb lélekszámú emberiség egy részének élete nemcsak hosszabb, de kellemesebb és jobb minőségű is.”

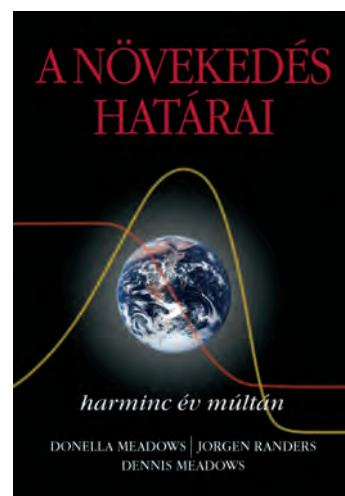
Év	Összesen (milliárd fő)	Növekedés (millió fő/év)
1950	2,555	37,7
1960	3,039	40,7
1970	3,708	77,5
1980	4,454	75,4
1990	5,284	84,1
1995	5,696	79,2
1996	5,775	79,5
1997	5,855	78,0
1998	5,933	76,8
1999	6,009	75,5
2000	6,085	74,2
2001	6,159	73,0
2002	6,232	72,4
2003	6,305	72,4
2004	6,377	72,5

*A világ népességének növekedése.  
Forrás: US Census Bureau*

A fejlődés ára azonban az, hogy egyre jobban kihasználjuk és terheljük a környezetet. A 21. század kezdetén odáig jutottunk, hogy tevékenységünk számottevően befolyásolja bolygónkat és annak az életet fenntartó rendszereit. A légkör összetétele, a folyók és a tavak vízrendszerei, a felszín növénytakarója, a tengeri élőhelyek, a parti zónák és a globális biológiai sokféleség egyre jelentősebben szenvednek az emberi tevékenység következményeitől.

Aggodalomra ad okot az ember okozta változások nagysága és gyorsasága. Például a légkör szén-dioxid-tartalma az utóbbi fél évszázadban, a pontos mérések kezdete óta mintegy 30 százalékkal növekedett (jelenleg a teljes atmoszféra 0,37 ezreléke). Ez a változás pedig akkora, mint a jégkorszakok és a meleg időszakok légköri szén-dioxid-tartalma közötti különbség.

A geológusok és paleontológusok több évszázados anyaggyűjtés, tudományos kutatás és számos megbeszélés, majd tudományos konferencia után a Föld geológiai folyamatainak és a földi élet fejlődésének utolsó 570 millió éves történetét néhány korra osztották. A Föld 4,6 milliárd éves, de a földtani korbeosztás ennél kevesebb időtartamról ad számot; ami azelőtt volt, azt egyszerűen prekambriumnak, azaz kambrium előtti kornak nevezzük.







*Az Utahraptor ősmaradványai*

Az élőhelyek tönkretétele és a felszíni növénytakaró megváltoztatása miatt gyors kipusztulás fenyeget számos fajt. A legjobb úton haladunk afelé, hogy a Föld hatodik nagy kihalási eseményét valósítsuk meg. Az eddig megismert nagy kihalási időszakok a következők:

- 439 millió évvel ezelőtt, az ordovícium és a szilur határán;
- 364 millió évvel ezelőtt, a késő devon korszakban;
- 251 millió évvel ezelőtt, a perm és a triász korszak határán;
- 199 millió évvel ezelőtt, a triász végén;
- 65 millió évvel ezelőtt a kréta és a harmadkor határán.

Ezek a kihalások a tengeri és szárazföldi fajok 20–82 százalékát érintették. A legutolsó kihalás során pusztultak el a dinoszauruszok, és ezzel nyílt meg a lehetőség az emlősök térhódítása előtt. A kihalásokat lávaömléseknek, aszteroidabecsapódásoknak és/vagy globális klímaváltozásoknak tulajdonítják. A fajok gyors eltűnéséért azonban most először nem a természet, hanem az emberi tevékenység a felelős.

A lokális és a regionális kibocsátások a légkörbe vagy a vizekbe globális környezeti változást okoznak. A szén-dioxid vagy a kén-dioxid gyorsan elkeveredik a légkörben, növelve az atmoszféra teljes szén-dioxid- vagy kén-dioxid-tartalmát. A víz szennyeződése hamarosan eljut a nagyobb folyókba, tengerekbe, végül a világóceánokba – erről részletesen szólt előadásában Somlyódi László (ME 1. köt. 287–306. p.).

A globális változások hatása felerősítheti a lokális és véletlen események következményeit. Dél-Európa vagy Kalifornia pusztító erdőtüzeinek súlyosságát fokozta a száraz és meleg időjárás. Növekedett a pusztító áradások, hurrikánok száma. A sort tovább folytathatnánk. Számos jel mutat arra, hogy valami baj van.

Margot Wallström 2004 márciusában már úgy fogalmazott, hogy a Föld új földtani korszaka kezdődött meg, az antropocén kor. Ennek alapvető jellemzője, hogy az emberi tevékenység lényeges és néha domináns környezetformáló tényező. „A földtörténet során soha nem volt még példa a globális változások ilyen komplex rendszerére, amellyel most szembesülünk. Terra incognita” – írja az Európai Unió környezetvédelmi főbiztosa, akit jól ismerünk, hiszen Magyarországon is járt, például a Tisza cianid-szennyeződése után.

Bolygónkat geológiai és biológiai rendszerek: a légkör, a hidroszféra, a talaj és a bioszféra tartják életben. Ezek teszik a Földet lakható bolygóvá – ahogyan ezt Mészáros Ernő (ME 2. köt. 231–240. p.) előadásában részletebben is kifejtette. Az emberiség most már képes arra, hogy a környezetet olyan mértékben változtassa meg, mely meghaladja a természetes változások mértékét. Ugyanakkor nem vagyunk elővigyázatosak: nem ismerjük eléggé a Föld fizikai és biológiai rendszereit: a légkör, a talaj, az óceánok és a bioszféra működését, keveset tudunk e rendszerek folyamatairól. Anyagi haszon érdekében gátlástalanul használjuk és szennyezzük környezetünket.



*Olajszennyezett tengerpart tisztítása*

kussá vált. A számos elhárítandó veszély közül vizsgáljuk meg először az atmoszférához kapcsolódó ózonszökkenést és az üvegházhatású gázok, elsősorban a szén-dioxid mennyiségének növekedését, illetve ezek lehetséges hatásait.

## Két globális probléma, melyet az atmoszféra összetételének változása okoz

A Föld légköre – amely jelenleg mintegy 78 százalék nitrogént, 21 százalék oxigént, 0,9 százalék argont és kis mennyiségben számos más gázt, valamint vízgőzt tartalmaz – a Föld négy és fél milliárd éves életében sokat változott, hosszú idő alatt alakult ki. Az ősi légkör, akárcsak az óceánok és tengerek vize, a Föld izzó belsejéből származott. Kétmilliárd éve még alig tartalmazott oxigént. Ezt a tengerben élő primitív élő szervezetek kezdték termelni fotoszintézis révén. Az oxigén koncentrációjának növekedése tette lehetővé, hogy a sztratoszférában ózon alakuljon ki, és megóvja az élőlényeket az ultraibolya-sugárzástól. Csak ezután hódíthatták meg az élőlények a tenger után a szárazföldet is.

A légkörben kis mennyiségben megtalálható szén-dioxid is nagyon fontos. A légkörnek kevesebb mint 0,4 százalékát adja, de üvegházhatású, azaz biztosítja, hogy elviselhető legyen a Föld klímája. Az üvegházhatás nélkül mintegy 33 °C-kal lenne alacsonyabb a Föld átlaghőmérséklete. De a szén-dioxid túlságosan nagy mennyisége – más üvegházhatású gázokkal együtt – globális felmelegedést okozhat. Az emberiség pedig évente sok milliárd tonna szén-dioxidot juttat a levegőbe. Az Egyesült Államokban például minden lakos – szénre átszámítva – 5,4 tonnát. Ennek ellenére az üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozása még várat magára.



*A rizsföldek talajában a baktériumok metántartalmú gázt fejlesztenek*

## Ózonpajzs védelme: példa a sikeres nemzetközi összefogásra

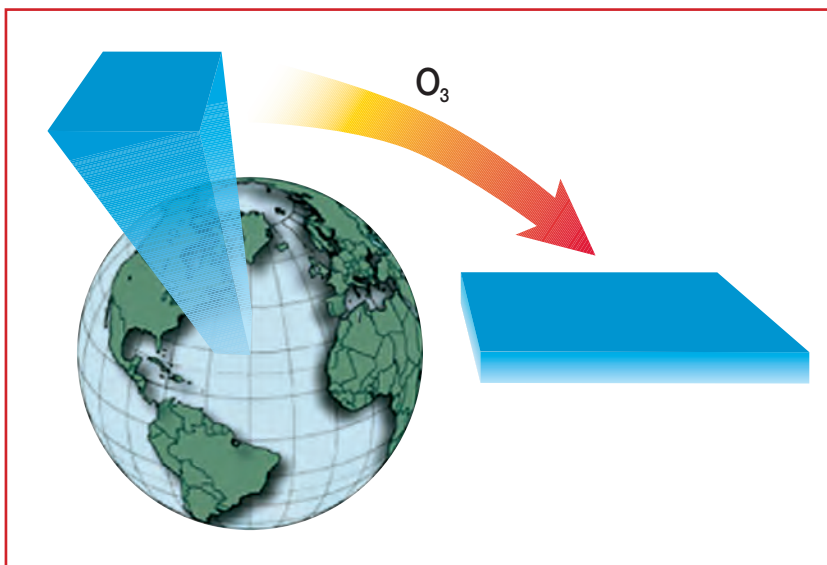
Az ózon szúrós szagú, kissé kékes színű gáz, melyet három oxigénatom alkot. A légkörben csak igen kis mennyiségben fordul elő. Ha az összes ózont egyetlen rétegbe nyomnánk össze a Föld felszínén uralkodó nyomással megegyező – azaz egy atmoszféra – nyomásúvá, és 0 °C-ra hűtenénk, mindössze 3–4 milliméter vastag réteget kapnánk. Az ózon mennyiségét **Dobson-egység**ben mérjük.

Az ózon kis mennyisége ellenére a szó szoros értelmében életfontosságú. A Nap ultraibolya-sugárzásának jelentős részét elnyeli, ezzel megakadályoz-

### **Dobson-egység:**

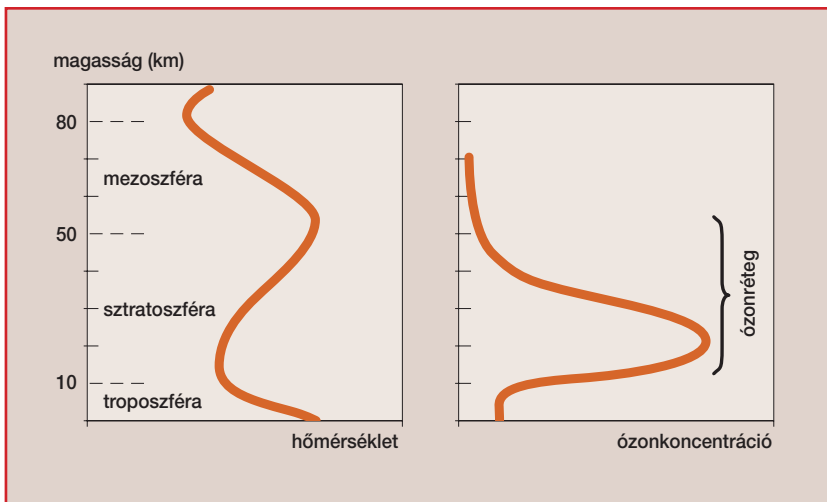
a G. M. B. Dobson által tervezett Dobson-spektrométer lényege a Nap ultraibolya-sugárzásának mérése négy hullámhosszon, amelyek közül kettőt nem érint az ózon, kettőt pedig elnyel. Egy Dobson-egység 1 atmoszféra nyomáson, 0 °C-on 0,01 milliméter vastagságú ózonréteget jelent.

A Dobson-egység definíciójának magyarázata



za, hogy ez a rendkívül veszélyes sugárzás a Föld felszínére jusson. Csaknem teljes az elnyelés a 0,2–0,3 mikrométer hullámhosszúságú sávban, tehát abban a tartományban, mely huzamos besugárzás esetén bőrrákot okoz. Az ózon nélkül sem állati, sem növényi élet nem volna lehetséges – legalábbis a szárazföldön. Ha nem tudnánk megőrizni az ózont, a szárazföldek szikla- és homoksivatagokká válnának. Emiatt nagy jelentőségű, hogy megértettük az ózon keletkezését, felderítettük az ózon csökkenésének okait, majd – nemzetközi egyezmények segítségével is – gondoskodtunk az ózonpajzs helyreállításáról. 1995-ben az ózonnal kapcsolatos vizsgálatokért kapott Nobel-díjat Paul Crutzen, Mario Molinari és Sherwood Rowland.

A hőmérséklet és az ózonkoncentráció változása az atmoszférában



Az ózon keletkezése összetett folyamat eredménye. Azzal kezdődik, hogy a Nap ultraibolya-sugárzása a 100 kilométer feletti magasságokban a normál kétatomos oxigénmolekulát oxigénatomokká hasítja, majd a szabad oxigénatom a normál oxigénmolekulával ózonná egyesül.

Az első fotokémiai magyarázatot az ózon keletkezésére és bomlására Sidney Chapman már az 1930-as években megfogalmazta, és azt is levezet-

te, hogy a legnagyobb koncentráció 15 és 50 kilométer közötti magasságban várható. Bár az elméletet finomították, lényege helyesnek bizonyult.

Az ózonmolekula instabil és könnyen bomlik. Paul Crutzen 1970-ben megmutatta, hogy a nitrogén-oxidok – mind az NO, mind az NO<sub>2</sub> – katalizálják az ózon bomlását normál oxigénmolekulákká. (A katalizátor maga változatlan marad, csak elősegíti a folyamatot.) Mivel a sztratoszférában mozgó szuperszonikus repülőgépek nitrogén-oxidot (is) kibocsátanak, veszélyt jelentenek az ózonrétegre.

Ennél sokkal nagyobb veszélyt ismert fel Mario Molinari és Sherwood Rowland 1974-ben: a nagy mennyiségben a légkörbe kerülő **freonok** okozta ózonbomlást. A freonok a halogénezett szénhidrogének, az úgynevezett CFC-gázok összefoglaló neve. Ezeket a gázokat sokoldalúan hasznosították az iparban: hűtőszekrényekben, habosított műanyagok előállítására és különböző kozmetikai szerek hajtógázaként. Éppen kémiai stabilitásuk és nem mérgező voltuk miatt a CFC-gázokat ideális környezetbarát anyagoknak is tartották. Egy évtizeden át – bár a kockázatot már nagyjából ismerték – nem történt érdemi intézkedés.

A Brit Antarktisi Kutatási Szolgálat (British Antarctic Survey) méréseire először 1985-ben figyeltek fel, amikor az ózoncsökkenés a **Halley Bay** állomás fölött egyetlen év alatt igen nagynak mutatkozott. A csökkenés már az 1970-es évektől kezdve megindult, és húsz év után az ózon koncentrációja alig érte el az eredeti érték felét. Ezt az Antarktisz feletti csökkenést nevezték szemléletesen – bár nem egészen pontosan – ózonlyuknak. Kiterjedéséről a TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) műholdon elhelyezett mérőberendezés adatai alapján kaphatunk képet.

További folyamatokat is felfedeztek, például azt, hogy a sarkok feletti sztratoszferikus felhők részecskéi gyorsítják az ózon bomlását. Csökkenést észleltek az Északi-sark felett is, sőt egyre kisebb szélességeken. Végül az ENSZ segítségével 1987-ban aláírták a **Montreali Egyezményt** az ózont csökkentő anyagokról. Később ezt kiegészítették és – a fejlődő országoknak

#### Freonok:

a fluorozott szénhidrogének egy csoportja. Például a telített freonok csoportjába tartozik a CFC–11, vegyi képlete: CFC<sub>13</sub>, azaz a szén mellett fluort és klórt tartalmaz, tartózkodási ideje a légkörben 45 év, vagy a CFC–12; képlete: CF<sub>2</sub>C<sub>12</sub>, tartózkodási ideje 102 év stb. A telítetlen freonok csoportjának jellemző tagja a HCFC–22. Képlete: CHF<sub>2</sub>Cl, azaz a vegyületben a szén, a fluor és a klór mellett még hidrogén is szerepel. A CFC–11 hajtógáz, de használják a szigetelőhab-gyártásban is, a CFC–12 szintén hajtógáz, de használják hűtőközegként is.

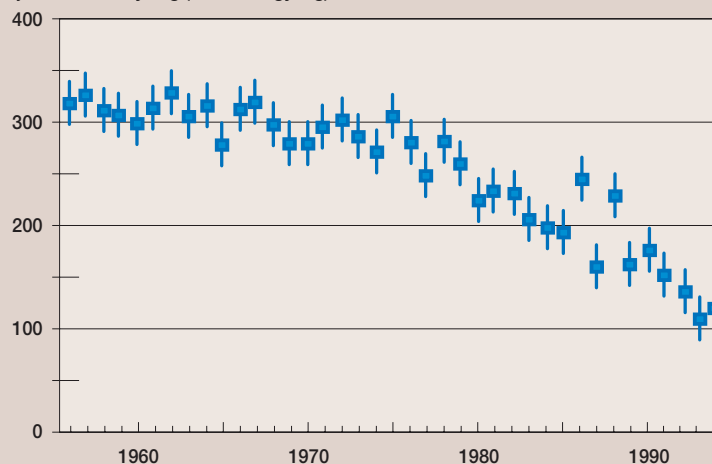
#### Halley Bay:

angol kutatóállomás az Antarktison, ahol mintegy ötven éve végeznek különféle meteorológiai és geofizikai méréseket.

#### Montreali Egyezmény:

a halogénezett szénhidrogének kibocsátásának korlátozását, illetve 1996. január 1-jétől teljes megszüntetését előíró jegyzőkönyv.

teljes ózonmennyiség (Dobson-egység)

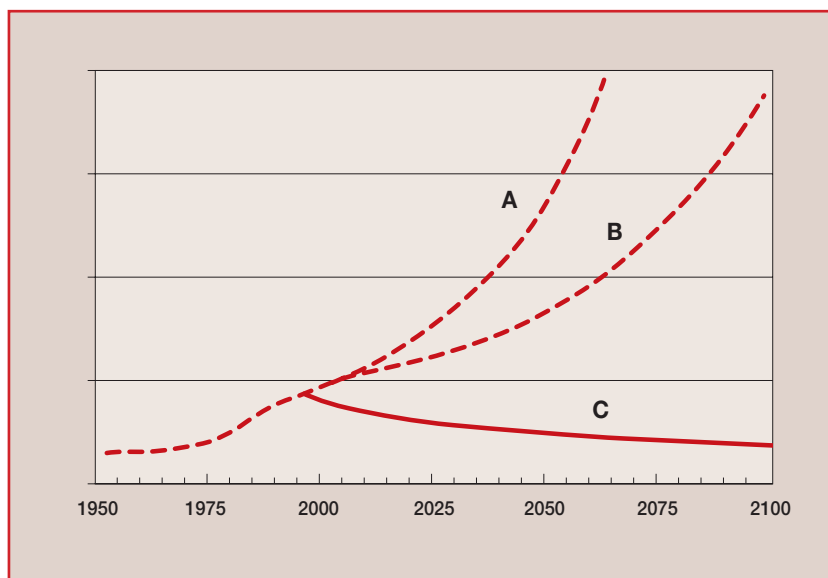


Az ózon mennyiségének változása

**Sztratoszféra:**

a légkörnek a troposzféra feletti, 15–50 kilométer magasságban elhelyezkedő második rétege.

adott néhány éves türelmi idő után – az ózont károsító anyagok kibocsátásának teljes tilalmában egyeztek meg. Ám még akkor is, ha ezeket minden ország betartja, ötven–száz évre van szükség az eredeti állapot helyreállításához. Emiatt nem tanácsos napozni délelőtt 10 óra és délután 4 óra között még Magyarországon sem. Az alábbi ábra a **sztratoszféra** klórtartalom-értékét mutatja három változatban: az A akkor, ha nem történt volna változás, a B, ha csak a Montreali Egyezményt tartanák be, és C, ha annak most már elfogadott kiegészítését is.



A sztratoszféra klórtartalom-értékének változása

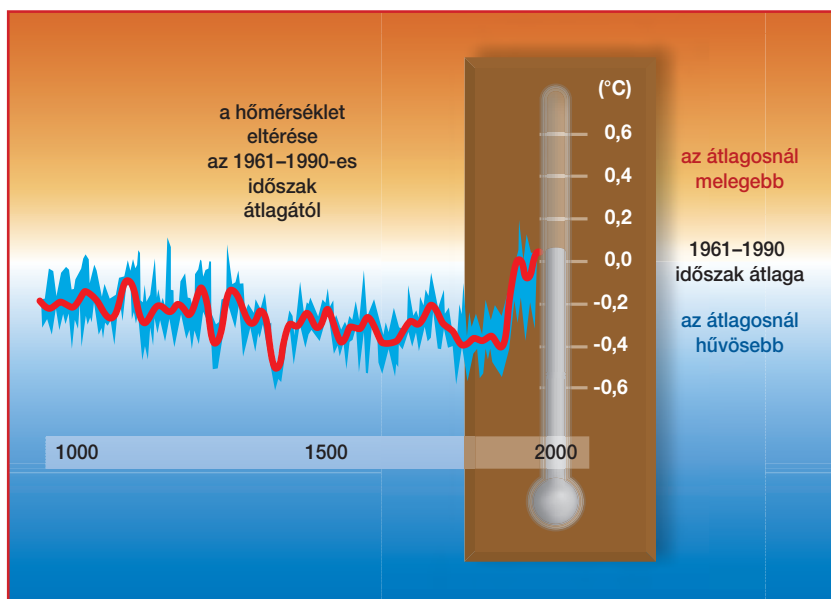
A klórtartalom az ózont károsító anyagok teljes mennyiségének a csökkenését is mutatja. Ha reményeink szerint a C változat következik be, az ózonréteg lassan, néhány évtized alatt regenerálódik.

## A szén-dioxid és más üvegházhatású gázok: egy megoldásra váró probléma

A mérések megállapították, hogy a légkörben a szén-dioxid és más üvegházhatású gázok mennyisége növekszik, ami globális klímaváltozással fenyeget. Az átlaghőmérséklet növekedését az utóbbi évszázadban 0,6 °C-ra becsülik. A felmelegedést nemcsak meteorológiai mérések bizonyítják, de az Északi- és a Déli-sark jegének olvadása és a gleccserek visszahúzódása vagy teljes eltűnése is. Az Északi-sarkon a jég már mintegy 40 százalékkal vékonyabb, mint harminc évvel ezelőtt.

Az átlagos hőmérséklet menetét két különböző időtávlatban mutatjuk be. Az újabb értékek mérési eredményekből kapott, a régebbiek jégminták analízisével vagy más közvetett módszerrel megállapított adatok. A hőmérséklet-változás átlagos menetét a folytonos, vastag vonal mutatja. Látszik, hogy utóbbi néhány évtizedben a változás felgyorsult.





*A hőmérséklet változása az utóbbi ezer évben az északi féltéken*

A globális felmelegedéssel kapcsolatban sok a bizonytalanság. A növények fotoszintézise a szén-dioxid-koncentráció emelkedésének hatására növekedhet, és ez, legalább részben, kiegyenlítheti a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó hatást. Az óceánokban feloldódó, megköthető szén-dioxid-mennyiség is változhat. Vannak olyan megfigyelések, amelyek szerint az **aeroszok** mennyisége növekszik a légkörben, ez viszont lehűléshez vezet, és részben ellensúlyozhatja az üvegházhatás miatt bekövetkező hőmérséklet-emelkedést.

Az eddigi legnagyobb geofizikai kísérlet tanúi vagyunk, amennyiben az emberiség néhány évszázad alatt eltűzeli azt a fosszilis tüzelőanyagot, melyet a természet négyszázmillió év alatt halmozott fel. A gondatlan „kísérletben” az emberiség évente átlagosan 22 milliárd tonna szén-dioxidot juttat a levegőbe – a kőszén, a földgáz és a kőolaj eltűzésével. Ennek a mennyiségnek háromnegyede a legfejlettebb ipari országokból és Kínából származik.

A talajhoz közeli légköri rétegek hőmérsékletének tapasztalt növekedése mellett 1949 és 1989 között a trópusi óceánok felszíni hőmérséklete is mintegy fél °C-kal nőtt. Különösen nagy a hőmérséklet-emelkedés a Csendes-óceán nyugati és az Indiai-óceán keleti részében, amelyek egyébként is a trópusi tengerek legmelegebb térségei. Ugyanezen időszakban a trópusi tengerek párolgása 16 százalékkal növekedett. Ez a jelentős vízpáratömeg is hatalmas hőmennyiséget szállít a légkörbe.

A szárazföldeken megolvadt jég és a tengerek vizének felmelegedése, illetve a melegebb víz nagyobb térfogata miatt a tengerek szintje az elmúlt száz évben 10–20 centiméterrel emelkedett.

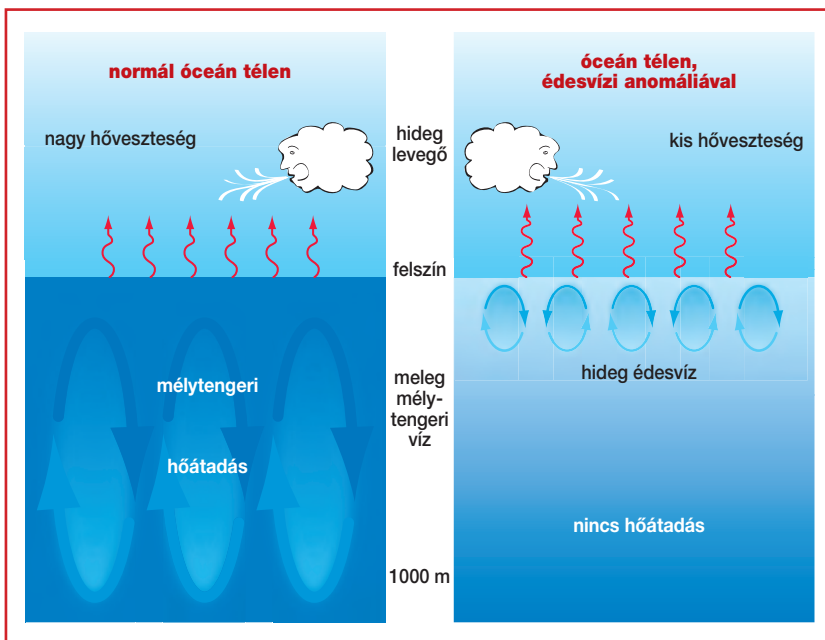
Megváltozni látszanak a csapadékviszonyok is. Egyes helyeken sokkal több, másutt kevesebb a csapadék, ami áradásokat, illetve tartós szárazságot, aszályt okoz. Mindkét változás jelentősen zavarhatja a mezőgazdaságot. Végül a klímaváltozás során jelentősen növekedhet a rendkívüli meteorológiai események (hurrikánok, tornádók, tartós esőzések) gyakorisága és intenzitása.

#### **Aeroszol:**

kolloidális méretű folyadék-cseppek és szilárd testek összessége, 90 százalékban természetes eredetűek (talajerózióból, hullámverés hatására a tengeri sószemcskékből és a vulkáni tevékenységből származnak), mintegy 10 százalék antropogén.



### Az óceáni rétegek hőátadása



Jégeső után

Hazánkban nyáron is lehetnek jégesők. A néha galambtojás nagyságú jég nemcsak jelentős kárt okoz, de az emberi életet is veszélyezteti. A tartós esőzés földcsuszamlást okozhat. A csuszamlások megindulásának leggyakoribb oka az állékonyság csökkenése, ez pedig többnyire vízfelvétel következménye.

Hosszan tartó száraz és meleg időben a talaj kiszárad, megrepedezik. De kiszáradnak a növények és fák is. A száraz aljnövényzet hozzájárul az erdőtüzek kialakulásához és gyors, szinte fékezhetetlen terjedéséhez. A múlt év nagy erdőtüzei Kaliforniában vagy Dél-Franciaországban azért is voltak olyan súlyosak, mert 2003 nyara az átlagosnál jóval szárazabb és melegebb volt.

## A gyors klímaváltozás lehetősége – lehűlhet-e Észak-Európa és Észak-Amerika?

Elképzelhető, hogy a Föld átlagosan lassan melegszik, ugyanakkor jelentős területei mégis hidegebbé válnak. A gyors változás lehetőségére a kutatók egy része már régebben – legalább egy-két évtizede – felhívta a figyelmet, ugyanakkor más tudományos körök, a nagyközönség, a döntéshozók nem vagy csak keveset tudnak róla.

Az édesvíz nagy tömegű beömlése megváltoztatja az Atlanti-óceán áramlatait, közöttük az Európa északnyugati részét melegítő Golf-áramlatot, emiatt Észak-Európa és Észak-Amerika keleti partvidéke jelentősen lehűlhet. Az utóbbi évtizedek kutatásai egyre meggyőzőbben bizonyítják, hogy ez nem kivételes esemény: az elmúlt húszezer évben többször voltak gyors és jelentős lehűlések.

A geológiai bizonyítékok, elsősorban a grönlandi fúrások jégmintáinak és a tengerfenék üledékeinek analízise, arra utalnak, hogy a változás akár egyetlen évtized alatt is bekövetkezhet, majd több évtized, esetleg évszázad időtartamban meg is maradhat.

Fontos előrebocsátani, hogy a globális felmelegedés és a regionális lehűlés egyszerre következhet be. A globális felmelegedés éppen az az egyensúlyt megbontó tényező, mely a regionális lehűlést okozza. Az Egyesült Államok Tudományos Akadémiájának 2002. évi jelentése szerint „a bizonyítékok arra utalnak, hogy a gyors klímaváltozások nemcsak lehetségesek, de valószínűek is a jövőben, és jelentős hatást gyakorolnak az élővilágra és a társadalomra”.

Az esetleges gyors klímaváltozás időpontjának is komoly következményei vannak. Ha a változás két évtizeden belül következik be, egészen más hatásai lesznek, mint ha csak egy további évszázad felmelegedése után kerül rá sor. Az 1950-es években általánosan elfogadott nézet volt, hogy a klímaváltozások néhány ezer év alatt következtek be. Az 1960-as és 1970-es évek kutatói már rövidebb átmeneti időszakot is elképzelhetőnek tartottak: néhány száz évről beszéltek. Ez a becslés az 1980-as és 1990-es években tovább zsugorodott: egyetlen évszázadra. Az utóbbi évtizedben világossá vált, hogy változás akár egyetlen évtized alatt is bekövetkezhet. „Az utóbbi évtized tudományos kutatásai jól megalapozzák a gyors klímaváltozás paradigmáját, de ez az újfajta gondolkodás kevésbé ismert és alig elfogadott a természettudósok és társadalomkutatók vagy a döntéshozók körében” – írja az Egyesült Államok Természettudományi Akadémiájának jelentése.

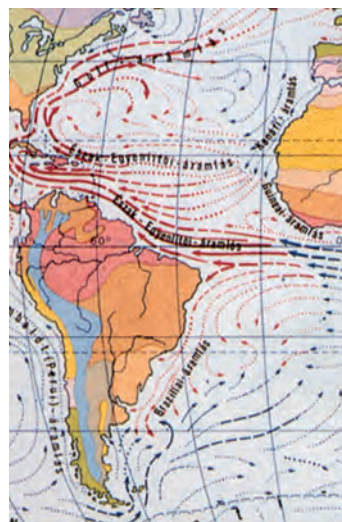


*Erdőtűz után*

## A gyors klímaváltozás oka: az óceánok szerepe

Mind a geológiai bizonyítékok, mind az egyre pontosabbá váló modellszámítások arra utalnak, hogy a Föld klímája olyan dinamikus, komplex rendszer, amelynek több stabil működési módja is lehetséges. A működési módokat érzékeny küszöbök választják el egymástól. Az Egyesült Államok Természettudományi Akadémiájának jelentése a változásokat a villanykapcsolóhoz hasonlítja. Ha ujjunkat egy kapcsolóra tesszük, és a nyomást lassan növeljük, a kapcsoló egyszer csak felkattan, és felgyullad a fény.

Eddig egyetlen olyan mechanizmust találtak, ami gyors változásokat hozhat létre: az óceáni áramlások átrendeződését. Az óceánok szerepe más szempontból is rendkívül fontos: biztosítják az életet jelentő vizet. A párolgás, majd a szárazföldekre hulló eső és hó adja a hidrológiai körforgást. Az óceáni áramlások vagy a víz tulajdonságainak változása globális skálán teheti tönkre a hidrológiai körforgást: egyes helyeken árvizeket, másutt tartós szárazságot okozhat. Az El Niño-jelenség csak egyetlen példa arra, milyen drámai következményei lehetnek annak, ha az óceán hőmérsékletének eloszlása akár kis mértékben is megváltozik.



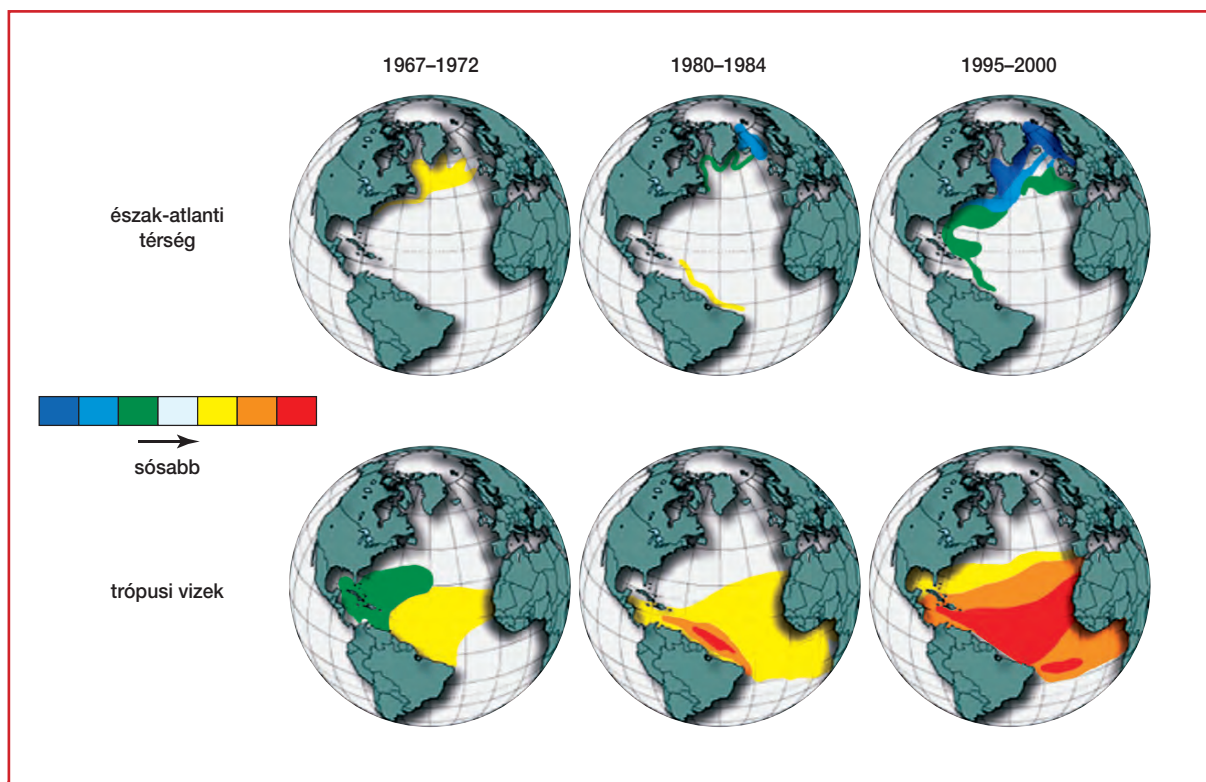
*Óceáni áramlások  
(tengeráramlások)*

A meteorológia főleg az atmoszférát vizsgálta. Az atmoszféra és az óceánok összefüggő rendszert alkotnak, emiatt az utóbbiak hatását nem szabad elhanyagolni. Ez a felismerés az utóbbi néhány évtized eredménye.

Az óceán szabályozó szerepének megértéséhez az alábbi, egyszerűsített áramlási képet kell megértenünk. Az Egyenlítő környékén a Nap felmelegíti a vizet és segíti a párolgást. Emiatt a víz sótartalma megnövekszik. A Golf-áramlat, a nagy óceáni szállítószalag egyik ága hatalmas tömegű meleg és sós vizet visz először az Egyesült Államok keleti partjára, majd Európa nyugati partjaihoz. A szállított hőmennyiség jelentősen csökkenti az Egyenlítő és a pólus közötti hőmérséklet-különbséget. Enyhévé teszi Nyugat-Európa klímáját, és különösen kedvező a hatása Európa északi részén. A hidegebb időszakban, különösen télen, amikor a levegő sokkal hűvösebb a víznél, az óceán jelentős hőmennyiséget juttat a levegőbe. Az óceán hatása nélkül, a számítások szerint, a telek átlagosan 5 °C-kal lennének hidegebbek. A szállítószalag teljesítménye 1–1,5 milliárd megawatt (2002. évi becslés).

A régi klíma vizsgálata – mélytengeri üledékek és mélyfúrások jégmintái alapján – azt mutatja, hogy a nagy szállítószalag a földtani közelmúltban is többször lelassult vagy teljesen leállt. Ennek oka az Észak-Atlanti-óceán területén, a leszálló ágban keresendő. A cirkuláció ugyanis két tényező együttes hatásától függ: ezek a hőmérséklet és a sókoncentráció (ezért is nevezzük termohalin cirkulációnak). A sós víz sűrűsége nagyobb, mint a kevésbé sós vízé. A meleg sós víz, a Golf-áramlat felszálló ága egészen addig a felszínen marad, míg magasabb hőmérséklete kompenzálja nagyobb sótartalmát. Amikor lehűl, a Labrador-, az Iringer- és a Grönland-tengereken a nagyobb sótartalom miatt hatása dominánssá válik, és nagyobb sűrűsége miatt

*Az Észak-Európa és Észak-Amerika  
partjai között levő tengerek  
elsótlanodása  
(R. B. Gagosian nyomán)*





a víztömeg lesüllyed. A mélybe hatoló hideg, sós víz hajtja a teljes szállítószalagot, lebukása segíti a meleg, sós víz áramlását az Egyenlítő felől. Ha a lebu-  
kó ág megszűnik vagy gyengébbé válik (azaz kisebb víztömeg mozog), a me-  
leg áramlat is megszűnik vagy kevesebb hőt hoz. Ezáltal az európai és észak-  
amerikai klíma több fokkal hidegebbé válik. De a leállás – szintén geológiai  
bizonyítékokkal alátámasztható módon – szárazabbá is teszi a teljes Földet.

A gyors klímaváltozás kulcsa tehát az Észak-Atlanti-óceán, illetve annak  
sótartalma és vízháztartása. Ha az óceán felszínére sok édesvíz kerül, az a  
nagyobb sűrűségű sós víz fölött marad, és megakadályozza a hőcserét, ille-  
ve a hőátadást a levegőbe. Ennél súlyosabb következmény, hogy felhígítja a  
vizet, csökkenti sótartalmát. Egy kritikus, egyelőre ismeretlen érték elérése  
után a sótartalom már nem lesz elegendő a nagyobb sűrűség és így a leszálló  
ág kialakításához. A leszálló ág megszűnésével egy évtizeden belül a szállító-  
szalag is leáll.

A *Nature* 2002-ben publikálta az oceanográfusok egy megrövidítő mé-  
rőssorozatát. Az utóbbi negyven év méréseit elemezve megállapították,  
hogy az Észak-Atlanti-óceán körüli tengerek egyre kevésbé sósak az 1000 és  
4000 méter közötti mélységben. A szerzők véleménye szerint ez a legna-  
gyobb és legdrámaibb változás az óceáni mérésekben, mióta csak modern  
műszereket használunk.

Úgy látszik, a beömlő hideg édesvíz már a teljes vízoszlopban eloszlott.  
Rövidesen a felszínen fog felhalmozódni, és amikor ez bekövetkezik, a szál-  
lítószalag akadozni kezd, majd leáll. A lehetséges leállás előjeleit egy másik  
jelentés is megerősíti: azt találták, hogy a Norvég- és a Grönlandi-tengerből  
az Észak-Atlanti-óceánba beömlő hideg, sűrű víz mennyisége 1950 óta már  
20 százalékkal csökkent.



Észak-atlanti áramlás

## Mikor állhat le az óceáni szállítószalag?

A kérdésre a rövid válasz: nem tudjuk. Ennek egyik oka az, hogy nem tud-  
juk, milyen mennyiségű most, és hogyan változhat a jövőben az Észak-At-  
lanti-óceánba jutó édesvíz. Forrásai az olvadó gleccserek, az olvadó sarki  
jég, de számottevő lehet a megnövekedő csapadék akár közvetlenül, akár a  
Jeges-tengerbe ömlő nagy folyók közvetítésével.

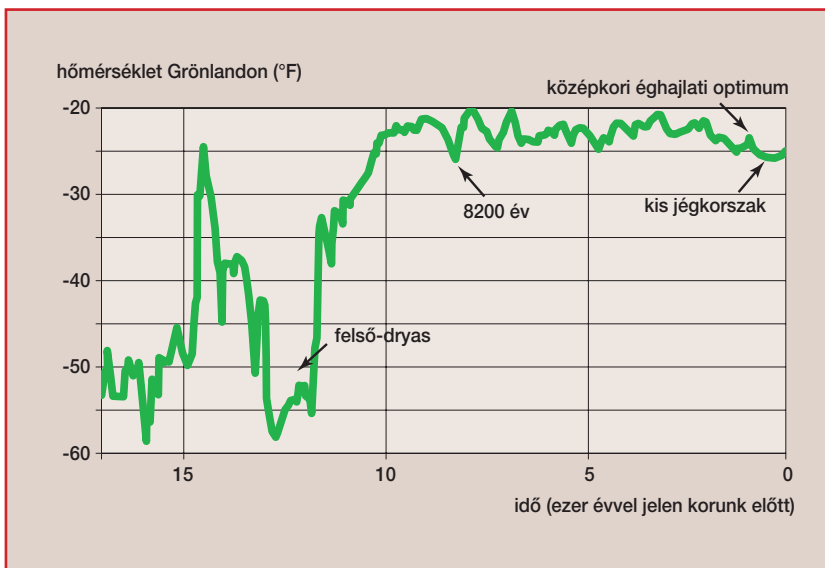
Ennél nagyobb gond, hogy keveset tudunk az óceánok vízmozgásáról.  
Korábban is voltak mérések (kutatóhajók, illetve tengeralattjárók felhasz-  
nálásával), és 1970 óta szatellitméréseket is végeznek, de ezek csak a felszíni  
viszonyokat tudják meghatározni. A nemrég indult **Argo-program** három-  
ezer szabadon úszó állomás segítségével fogja meghatározni a felső vízréte-  
gek hőmérsékletét és sótartalmát. A mélyáramlások megismeréséhez pedig  
a kritikus helyeken a tengerfenékhez erősített állomásokat helyezték el. Az  
óceánok óriási területét tekintve ez még mindig csak szegényes hálózat, és  
az adatok csak most kezdenek felhalmozódni. Emiatt tájékozódásunk csak  
a múltra épülhet; részben a történelmi, részben a geológiai bizonyítékokra  
támaszkodhat.

### Argo-program:

nagyszabású globális óceán-  
kutató program. 2000-ben  
kezdődött és végső állapotában  
háromezer mozgó bóján elhe-  
lyezett műszeregyüttessel méri  
a hőmérsékletet, sótartalmat,  
áramlási sebességet stb. 2004.  
szeptember 17-én már 1372  
mozgó egység továbbította  
adatait műholdas kapcsolattal.



A hőmérséklet alakulása Grönlandon az utóbbi 17 ezer évben



A közelmúltat tekintve két lehűlést kell említeni. A felső-dryas mintegy 12 700 évvel ezelőtt kezdődött és 1300 évig tartott. Az átlaghőmérséklet Európa és Észak-Amerika nagy részén 5 °C-kal volt alacsonyabb a jelenleginél. Maga a korszak nevét a Dryas nevű hidegkedvelő növényről kapta, amelynek maradványait ebből az időből mindenütt megtalálták. Mélytengeri fúrások alapján tudjuk, hogy a jéghegyek egészen Portugália partjáig elúsztak. A felső-dryas hirtelen – egyetlen évtized alatt – szűnt meg, a hőmérséklet visszaállt a korszak előtti értékre.

Hasonló, de rövidebb és kevésbé súlyos lehűlés volt 8200 évvel ezelőtt. Mintegy száz évig tartott, és a hőmérséklet csökkenése csak nagyjából 1 °C volt. Már a történelmi feljegyzésekből tudjuk, hogy 1300 és 1850 között „kis jégkorszakot” élt át Európa. Kemény telek, hosszan befagyott folyók, rövidebb nyarak, és emiatt gyengébb termés jellemezte. Bár a hőmérséklet-csökkenés jóval kisebb volt, mégis éhínségek, betegségek, tömeges migráció kísérte. Grönland (a „Zöld-föld”), amely az 1000 körüli középkori éghajlati optimum idején lakott volt, újból elnéptelenedett.

Mindez azt mutatja, hogy akár kis változásoknak is nagyon komoly következményei lehetnek, és ezekre fel kell készülni. A Magyar Tudományos Akadémián Láng István akadémikus vezetésével, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium támogatásával 2003 óta folyik a „Változás – Hatás – Válasz” (VAHAVA) nevű program, amelynek célja a hazai felkészülés tudományos megalapozása.



*Dryas octopetala*

## Energia

A gazdaságot érintő gondok közül most csak az energiaellátással foglalkozunk. A mezőgazdasági társadalmak lényegében a Nap energiáját hasznosították. A föld művelésével, teraszok kialakításával, később öntözéssel, növények és állatok nemesítésével, más fajok kiirtásával elérték, hogy azonos nagysá-

gú terület sokkal több ember eltartására legyen képes, mint a gyűjtögetés és a vadászat. A bioszféra „megművelt” része hatékonyabban hasznosította a Nap energiáját. A napsugárzás a forrása a szél és a víz energiájának is, mely szélmalomokat és vízimalmokat hajthat. Az erdők hosszabb időszak alatt halmozzák fel anyagukban a Napból származó energiát. Az erdők kiirtásával gyorsan hozzá lehet jutni több száz év napsugárzásának tárolt energiájához – de csak egyszer. A mezőgazdasági társadalmak fejlődése elé áthághatatlan korlátot állított a rendelkezésre álló energiaáram véges nagysága.

Az ipari forradalom nem lett volna lehetséges a fosszilis energiahordozók felhasználása nélkül. A mezőgazdasági és ipari társadalmak közötti döntő különbség az, hogy a mezőgazdasági társadalmak közvetlenül a napenergiát hasznosították, az ipari társadalmak pedig a fosszilis napenergiát: a szenet, a kőolajt és a földgázt. A fosszilis energiahordozók szintén a Nap energiájának és a fotoszintézisnek köszönhetik létüket, melyet kedvező geológiai folyamatok, kedvező körülmények között, a föld mélyében számunkra megőriztek. Kialakulásukhoz évmilliókra volt szükség, felhasználásuk gyorsasága nem kevésbé rablógazdálkodás, mint az őserdők kivágása. A „föld alatti őserdők” meglévő készlete a kitermelés jelenlegi üteme mellett rövidebb ideig elegendő, mint az ipari társadalmak kialakulásához szükséges idő.

Az ipari forradalom kétszáz éves történetében ugyanúgy szerepe volt a fa hiánya miatt a szén kényszerű felhasználásának, a gőzgépek, majd a belső égésű motorok feltalálásának, mint a hirtelen jött energiabőségnek – melyet a fosszilis energiahordozók biztosítottak. De szerencsés geológiai véletlenek is szerepet játszottak. A szén ismert volt a mezőgazdasági társadalmakban is, de csak végszükségben használták fel tüzelőanyagként a fa helyettesítésére. A vasolvasztásnál is inkább faszenet alkalmaztak. Egy tonna nyersvas előállítására, majd finomítására nagyjából ötven köbméter fára van szükség. Ez pedig tíz hektárról termelhető ki. Az angol vasgyártás a 17. századtól a 18. század közepéig stagnált a faszén állandó hiánya miatt. A szén felhasználása döntő változást hozott. Egy hektárról kitermelhető fa energiatartalmával nagyjából egy tonna szén ad azonos energiát. A széntermelés Angliában az első világháború előtti utolsó békeévben, 1913-ban 287,4 millió tonna volt, és ez jóval nagyobb erdőterülettel egyenértékű, mint az ország teljes területének tízenöttszöröse. Angliában azonban bőségesen volt szén – a Tyne völgyében a felszínen is –, és a nagyvárosokba vízi úton könnyen el is lehetett szállítani. A szerencsés geológiai és geográfiai adottságok valószínűleg döntő szerepet játszottak abban, hogy az ipari forradalom Angliából indult világhódító útjára. A Ruhr-vidéken vagy Sziléziában is van szén, de csak nehézkesen, szárazföldi úton lehetett szállítani, Olaszországban vagy Görögországban bármit lehet vízi úton szállítani, de nincsen számottevő széntelep.

A Föld valamennyi országának teljes energiatermelése harminc év alatt, 1971 és 2001 között mintegy 70 százalékkal növekedett. A következő ábrán az egyes energiahordozók jelentőségének változása is látszik.



*Fakitermelés*

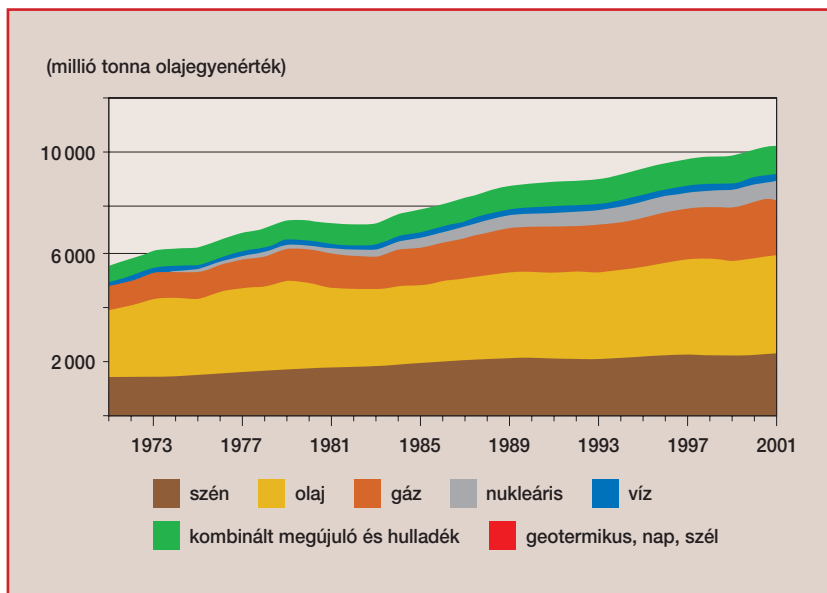


*Szénbányászat*

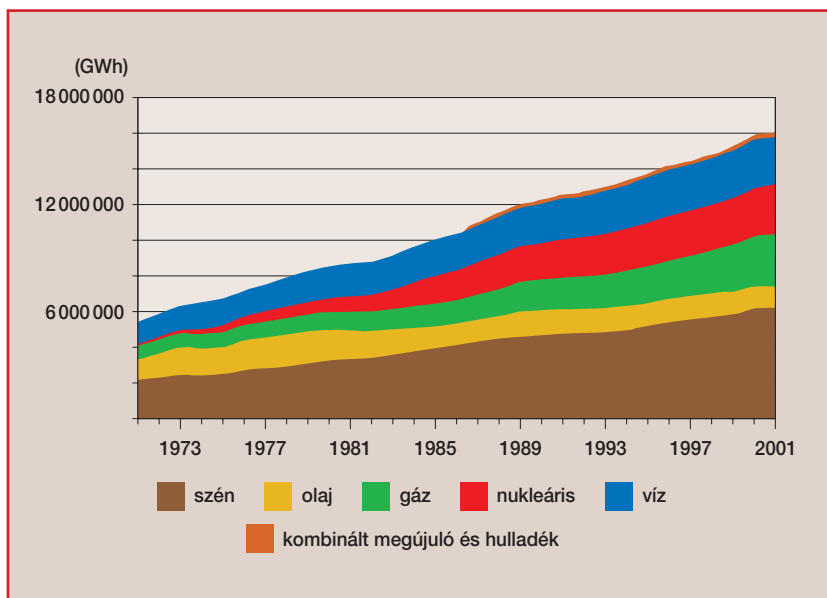


*A szénfűtésű erőmű villanyáramot termel*

*A Föld összes országának teljes energiatermelése 1971 és 2001 között*



*A Föld összes országának villamosenergia-előállítása az utóbbi harminc évben*

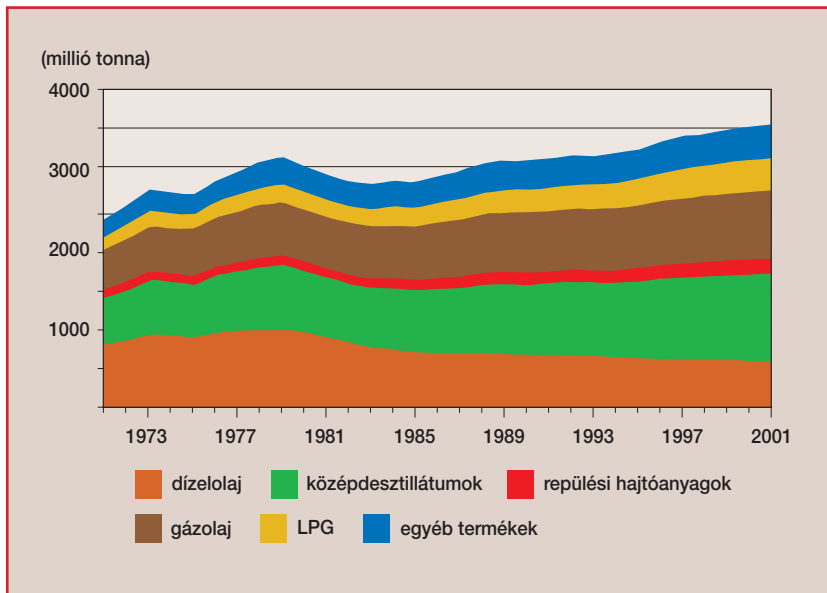


Az adatokat millió tonna olajegyenértékben adjuk meg. Jelenleg ez már meghaladja a 10 milliárd tonnát.

Még gyorsabban, csaknem háromszorosára növekedett a villamos energia előállítása, jelenleg 16 millió gigawattóra körül mozog.

A kőolaj, illetve az olajtermékek felhasználásának növekedése az utóbbi harminc évben sokkal lassabb volt, és két esetben a növekedés helyett csökkenést is látunk: az 1973. és 1978. évi olajválság utáni években. Jelenleg a világ felhasználása mégis meghaladja az évi 3 és fél milliárd tonnát. Megjegyzendő, hogy száz évvel ezelőtt a termelés mindössze húszmillió tonna volt, azaz két emberöltő alatt két nagyságrenddel, mintegy százszorosára növekedett. Az utóbbi harminc év lassulása mutatja, hogy előbb-utóbb elérjük a csúcst, és szükségszerű lesz a termelés csökkenése.





*Az olajtermékek felhasználásának növekedése 1971 és 2001 között*

Az egyes régiók energia felhasználását 1997-ben az alábbi táblázat foglalja össze.

Régiók	Összes felhasználás (ezer tonna olajegyenértékben)	Összes felhasználás (%)
A világ összesen	9 135 157	100,0
Ázsia (Közép-Kelet nélkül)	2 958 844	32,4
Európa	2 553 858	27,9
Közép-Kelet és Észak-Afrika	525 927	5,7
Észak-Amerika	2 400 174	26,3
Közép-Amerika	198 317	2,2
Dél-Amerika	379 732	4,2
Óceánia	118 305	1,3

*Energiafelhasználás valamennyi forrásból (1997). Forrás: World Resources, 2000–2001*

A 20. századot a szénhidrogének: az olaj és a gáz gyors térhódítása jellemezte. Az alábbi táblázat azt mutatja, hogy 1997-ben az olaj jelentősen meghaladta a szén felhasználását, és a gáz is csaknem ugyanolyan jelentős volt, mint a szén. A világ ma már rendkívül nagy mennyiségű energiát,

Régiók	Szén	Olaj	Gáz	Nukleáris
A világ összesen	23,69	35,81	20,08	6,56
Ázsia (Közép-Kelet nélkül)	34,75	31,30	8,72	4,05
Európa	19,57	33,36	29,87	11,75
Közép-Kelet és Észak-Afrika	5,84	57,4	33,2	0
Észak-Amerika	22,53	38,94	24,12	8,16
Közép-Amerika	3,43	59,31	18,00	1,37
Dél-Amerika	5,44	47,14	19,08	0,76
Óceánia	36,94	35,41	18,26	0

*Az energiaforrások aránya az összes energiafelhasználás százalékában (1997). Forrás: World Resources, 2000–2001*



olajegyenértékben kifejezve csaknem tízmilliárd tonnát használ fel. Ennek döntő többsége a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származik, amelyek csak korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre, és előbb-utóbb elfognak.

A **megújuló energiahordozók** közül a legjelentősebb a tűzifa, a hulladék és a **biomassza** hasznosítása, ezt követik a vízi erőművek. A további források (**geotermikus energia**, nap- és szélenergia hasznosítása) még jelentéktelenek. Az elsődleges energiahordozók megtalálása egyre nehezebb, a rosszabb minőségűek kitermeléséhez bőséges energia kell. A következő évtizedekben az olaj-, a szén- és a gázkutatás mellett fontos az alternatív energiaforrások hasznosítása.

*A megújuló energiaforrások aránya az összes energiafelhasználás százalékában (1997).  
Forrás: World Resources, 2000–2001*

Régiók	Tűzifa, hulladék	Vízerőmű	Geotermikus	Nap	Szél
A világ összesen	11,15	2,32	0,37	0,01	0,01
Ázsia (Közép-Kelet nélkül)	19,26	1,49	0,41	0,01	0,01
Európa	3,01	2,27	0,15	0,01	0,02
Közép-Kelet és Észak Afrika	2,20	1,20	0,04	0,12	0,00
Észak-Amerika	3,25	2,45	0,53	0,01	0,01
Közép-Amerika és a Karib-szigetek	12,93	1,93	3,02	0,00	0,01
Dél-Amerika	16,35	11,22	0,00	0,00	0,01
Óceánia	5,00	2,90	1,39	0,07	0,01

#### Megújuló energiahordozók:

természetes megújulásra képes vagy gyakorlatilag tetszőlegesen hosszú ideig rendelkezésre álló energiaforrások. Az első csoportba tartozik a tűzifa és más biológiai eredetű éghető anyag. A második csoportba a víz, a szél, a napsugárzás és a geotermikus energia hasznosítását soroljuk.

#### Biomassza:

egy adott területen az ott található valamennyi élőlény testét felépítő anyag összes tömege. Valamennyi élőlény testében – bár nagyon eltérő mennyiségben – sok víz van, ezért a biomasszát rendszerint szárazanyagra vagy szénre számítják át. A szárazföldek biomasszája mintegy három nagyságrenddel nagyobb az óceánokénál, a növényi biomassza pedig mintegy százhuszszorosa az állati biomasszának.

Az energia biztosítása a fenntarthatóság egyik legnagyobb nehézsége. A fejlődő országok igénye növekszik, és a jólét növekedése mindenütt új igényeket támaszt, új fogyasztási szokások alakulnak ki, melyekkel a nehézségek növekedhetnek. A fejlett országokban a légkondicionálás elterjedése miatt a nyári áramfogyasztás már most is lényegében azonos a téli, fűtésre használt energiafogyasztással. A hamarosan kialakuló hiány megelőzésére az energiaforrásokat hatékonyan és takarékosan kellene használni. A következő évtizedekben gyorsan növelni kell a megújuló források részarányát Európában és hazánkban is.

## Katasztrófák

A fenntartható fejlődés látszólag csak kevésbé kapcsolódik a katasztrófák eleni védekezéshez. A fenntartható működésnek valóban számos más fontos eleme van. A természeti katasztrófák számának növekedése és az okozott kár még gyorsabb emelkedése azonban összefügg a nem fenntartható működéssel. Sok kedvezőtlen változás abból következik, hogy nem fenntartható módon szerveződik az ipar, a mezőgazdaság, a közlekedés és a kereskedelem. A természeti és ember okozta katasztrófák egy része elkerülhető, és a mindenképpen bekövetkező katasztrófák (földrengés, árvíz, aszály, erdőtűz, napkitörések utáni mágneses zavarok stb.) kártétele jelentősen csökkenthető megfelelő felkészüléssel és elővigyázatossággal.

Az 1999-ben Budapesten megrendezett Tudomány Világkonferenciája állapította meg, hogy minden országnak foglalkoznia kell a rövid ideig tartó természeti katasztrófák és a környezeti változások hosszú távú kockázataival, az előrejelzéssel, a felkészültség javításával, a kedvezőtlen hatások csökkentésével. Kíváncsú a katasztrófákkal kapcsolatos tevékenységek integrálása a nemzeti fejlesztési tervekbe. Fontos szem előtt tartani, hogy bonyolult világban élünk, amelyben a hosszú távú változások előrejelzése még nagyon bizonytalan. A tudománynak új előrejelző és megfigyelő stratégiákat kell kifejlesztenie. Az elővigyázatosság fontos vezérlőelv az elkerülhetetlen bizonytalanság kezeléséhez, különösen az esetlegesen visszafordíthatatlan vagy nagy károkat okozó események esetében.

Az utóbbi években több árvizet élt át Magyarország. Néha szerencsénk is volt: például 2003 tavaszán a hóolvadás lassú volt, de néha elég egy tartós esőzés az árvíz kialakulásához. Példa erre 2002 augusztusában a Duna áradása.

Fontos területe a fenntarthatóságnak a természeti és ember okozta katasztrófák kezelése. A természeti katasztrófák – viharok, áradások, földrengések, aszály – egyre nagyobb anyagi veszteségeket okoznak. Ez részben az egyre érzékenyebb és egyben egyre értékesebb infrastruktúra következménye. A károk felméréséről és helyreállításáról fokozatosan át kell térnünk a megelőzésre. A katasztrófák elleni védekezés akkor hatékony, ha a katasztrófa be sem következik – mert például a gátakkal, átmeneti tározókkal az árvíz pusztítását megelőzzük –, ha pedig elkerülhetetlen – mint például a földrengés –, megfelelő építési szabványok következtetés alkalmazásával a károkat lehető legkisebb mértékűre csökkentjük.

Sajnos sem a tudományos megalapozásban, sem a rendszeres monitorozásban nem tartunk ott, ahol kívánatos volna, és ahol tartanunk kellene. Pedig jobb felkészülni a természeti vagy saját tevékenységünk okozta katasztrófákra, mint felkészületlenül elszenvedni őket.

## Mit kell tennünk a fenntarthatóság eléréséhez?

A kedvezőtlen változásokat évtizedekkel ezelőtt már felismerték. Ennek egyik eredménye volt a Stockholmban tartott, *Az emberi környezet* című ENSZ-konferencia, illetve annak nyilatkozata (1972. június 16.). Ebben még nem fordult elő a fenntartható fejlődés kifejezés. Láng István közlése szerint – aki a **Brundtland-jelentés** készítésében is részt vett – csak később és hosszabb vita után fogadták el, hogy a Környezet és Fejlődés Világbizottsága (Brundtland Bizottság) központi mondanivalója az akkor már használt „fenntartható fejlődés” legyen.

A húsz évvel később tartott 1992. évi *Környezet és fejlődés* konferencia (Rio de Janeiro, június 3–14.) eredménye volt a ma is érvényes és megvalósítandó ajánlásokat tartalmazó nyilatkozat, továbbá a *Feladatok a 21. századra* című dokumentum, az éghajlatváltozásról szóló keretegyezmény –

### Geotermikus energia:

a Föld belsejében a radioaktív folyamatok szakadatlanul hőt termelnek, amely a hidegebb rész, azaz a Föld felszíne felé áramlik. Kis energiasűrűsége miatt a hőáram nehezen hasznosítható. A földtani folyamatok során azonban nagy tömegű, a környezeténél jóval melegebb kőzetanyag kerülhet a felszínre vagy közvetlen közelébe. A geotermikus erőművek az ebben található hőmennyiséget aknázzák ki. Sokszor meleg vízzű források vagy artézi kutak vizét is hasznosítják üvegházak vagy lakóházak fűtésére.

### Brundtland-jelentés:

A Környezet és Fejlődés Világbizottsága az ENSZ felkérésére 1984-ben alakult meg. Vezetője Gro Harlem Brundtland asszony, a Norvég Királyság akkori miniszterelnöke, aki huszonkét tagot választott. A bizottság többévi munka után, 1987 februárjában fogadta el a *Közös jövőnk* című jelentést, ami Brundtland-jelentés néven vált közismertté. Alap gondolata, hogy a Föld minden lakosának joga van emberhez méltó életkörülmények között élni, és ugyanezt biztosítani kell a jövő generációk számára is. A jelenlegi technológiákkal és termelési eljárásokkal, illetve a fejlett országok pazarló fogyasztásával ez nem valósítható meg.



*A környezet védelmével  
és a fenntartható fejlődéssel  
foglalkozó legfontosabb  
konferenciák*

amelynek megvalósulásáért még mindig küzdeni kell – és a biodiverzitás, a biológiai sokféleség megőrzéséről szóló egyezmény. Az *Elvek az erdőkről* sajnos csak elvi ajánlás maradt.

Az ENSZ jelen lévő tagállamai, felismerve, hogy a Föld jóléte sok összefüggő rendszer kiegyensúlyozott működésétől függ, a nyilatkozatban 27 elvet fogadtak el. Ezek közül a 3. fogalmazza meg a fenntarthatóságot, kimondva, hogy a fejlődéshez való jogot úgy kell érvényesíteni, hogy a ma élő és a jövő nemzedékek fejlődési és környezeti szükségleteit egyaránt ki lehessen elégíteni. A 4. elv külön is kimondja, hogy a fenntartható fejlődés elérése érdekében a környezetvédelemnek a fejlődési folyamat szerves részét kell alkotnia, nem kezelhető attól elkülönülten. A 8. elv pedig megállapítja, hogy a fenntarthatóság és minden ember magasabb életszínvonalának az eléréséhez csökkenteni kell, majd ki kell küszöbölni a termelés és fogyasztás nem fenntartható módjait, és elő kell segíteni a megfelelő népesedéspolitikát.

Örömmel állapíthatjuk meg, hogy az utóbbi évtizedekben nemzetközi egyetértés alakult ki a fenntarthatóság fontosságáról és aktuális feladatairól. Megjegyzem, hogy ezeket a Tudomány Világkonferenciája (WCS) és az Európai Unió számos dokumentuma is megfogalmazza. A fenntarthatóságot biztosító stratégia központi elemének a tudományos, mérnöki és egészségügyi kapacitások világméretű, erőteljes növelését tekintik. A civil szervezeteknek, magánvállalkozásoknak, regionális önkormányzatoknak és nemzeti kormányoknak közös erővel kell munkálkodniuk a teendők kidolgozásán és helyi szintű megvalósításán.

1972	Stockholm	Emberi környezet
1985	Bécs	Egyezmény az ózonréteg védelméről
1987	Montreal	Jegyzőkönyv (az ózonréteg védelméről)
1992	Rio de Janeiro	Környezet és fejlődés
1997	Kioto	Jegyzőkönyv (az éghajlat változása keretegyezmény végrehajtásáról)
2002	Johannesburg	Világtalálkozó a fenntartható fejlődésről

Nem elegendő néhány intézkedés vagy néhány kisebb korrekció az ipar, a mezőgazdaság, a közlekedés vagy az energiatermelés jelenlegi működtetésében. Minden ágazat mélyreható átalakítására van szükség annak érdekében, hogy a valós szükségleteket úgy elégíthessük ki, hogy az erőforrásokat és a természet állapotát meg tudjuk őrizni a jövő generációk számára.

A nagyszámú, egymással összefüggő feladat megoldása csak valamennyi ágazat egyidejű, harmonikus fejlődésével, közös munkájával és együttműködésével képzelhető el. Ebből eddig legkevésbé az együttműködés valósult meg. Ennek objektív okai vannak: az intézményrendszer hiánya, a széles körű áttekintéssel rendelkező szakemberek hiánya, a társadalmi támogatottság alacsony szintje. A döntéshozók vonakodnak olyan népszerűtlen intézkedéseket hozni, amelyek haszna esetleg egy évtized múlva



érezhető, de azonnali lemondást vagy anyagi áldozatot igényel. Az első, a tudomány oldaláról származó jelzések, majd az egyre sürgetőbb kérések után a bajt elhárító intézkedések rendszerint akkor következnek, amikor már késő, a megelőzés helyett a sokkal költségesebb (esetleg meg sem valószínűsíthető) kárelhárítás marad. Ez a tendencia nemcsak Magyarországra, de a világ egészére is jellemző.

Nagyon jól mutatta ezt a Johannesburgban rendezett konferencia, amelyet a Riói Nyilatkozat 10. évfordulóján, 2002. augusztus 26. és szeptember 4. között rendeztek meg. Megállapították, hogy a Föld környezeti állapota egészében véve tovább romlott, a szegény és gazdag országok közötti különbség tovább nőtt. Az OECD-országok lakossága jelenleg a Föld népességének 18 százaléka, de a megtermelt energia felét fogyasztják el, és a világ GDP-jének mintegy 80 százalékát termelik. Az OECD-országok többsége 1992-ben elkötelezte magát arra, hogy bruttó nemzeti termékének 0,7 százalékát hivatalos fejlesztési segélyekre fordítja, de e kötelezettségnek csak öt ország tett eleget.

Jellemző a légkörbe juttatott üvegházhatású gázok mennyiségi korlátozására vonatkozó egyezmény sorsa is. Rió után öt évre volt szükség, amíg Kiotóban az országok többsége rögzítette vállalásait. Az újabb megállapodás óta csaknem egy évtized telt el, de a korlátozásokat még most is (2004 szeptemberében) csak az országok egy része, módosításokkal és engedményekkel léptette életbe.



*Tehéntrágyából tüzelőanyag  
(Banglades)*

## Összefoglalás – a környezet megőrzésének fontossága

Az ember és a természet azonos lényegűek, a természet törvényei tartósak, megváltoztathatatlanok. Túlélése érdekében az emberiségnek együtt kell működnie a természettel. Abba kell hagyni a Föld erőforrásainak pazarlását, gyors felélését és el kell kezdeni egy ésszerű, önmagát megújító működést. Ezeket az elveket követve az emberi élet még hosszú ideig fennmaradhat.

A civilizáció fejlődése során az emberiség egyre fokozódó mértékben hasznosította a Föld erőforrásait. A 18. század óta a fosszilis energiahordozók bőséges energiát biztosítottak. Lényegében ez tette lehetővé az ipari forradalom kibontakozását. Az emberi társadalom azonban a hamis látszat ellenére nem egyre kevésbé, hanem egyre jobban függ a véges méretű Föld törekeny ökológiai rendszerének számunkra kedvező működésétől. Az erőforrások végesek, a cselekvés tere korlátozott. A károkozás lehetősége igen nagy, a kár elhárítása rendkívül költséges, sokszor lehetetlen. Az emberi életkörülményeket döntően fogja befolyásolni az, hogy mennyit tudunk, és ismereteinket hogyan tudjuk hasznosítani. Pontosabban kell ismerni a folyamatokat, a beavatkozás következményeit, előre fel kell mérni, ki kell számítani a lehetséges hatásokat.



*Rekultivációra váró külszíni  
barnaszénlelőhely Európában*



Teendőink tehát a következők:

- takarékoság (energia, nyersanyagok);
- felkészülés (árvíz, klímaváltozás);
- elővigyázatosság (építkezés, termelés).



A környezet védelme nem csupán a természet szépsége és értékei miatt lényeges mindannyiunk számára. Ez életünk feltétele, az emberiség megmaradásának eszköze.

## Ajánlott irodalom

- Brundtland Report (World Commission on Environment and Development, 1987: Our Common Future). New York: Oxford University Press, 1987.
- Czelnai Rudolf: A Világóceán. – Modern fizikai oceanográfia. Bp.: Vince K., 1999.
- Faragó Tibor (ed.): Nemzetközi együttműködés a fenntartható fejlődés jegyében és az Európai Unió fenntartható fejlődési stratégiája. Bp.: Fenntartható Fejlődés Bizottság, 2002.
- Horn Péter: Agrárgazdaság – EU-kitekintéssel. In: Mindentudás Egyeteme 2., Bp.: Kossuth K., 2004: 19–38.
- Kerényi Attila: Környezettan: Természet és társadalom – globális nézőpontból. Bp.: Mezőgazdasági K., 2003.
- Láng István: Környezetvédelem – fenntartható fejlődés. In: Mindentudás Egyeteme 1., Bp.: Kossuth K., 2003: 147–158.
- Meskó Attila: A környezetvédelem feladatai az EU-csatlakozás előtt. In: Európai Unió csatlakozás és földtudomány. Bp.: MTA Társadalomkutató Központ, 2003: 67–84.
- Mészáros Ernő: A lakható bolygó. In: Mindentudás Egyeteme 2., Bp.: Kossuth K., 2004: 231–240.
- Nemzeti Beszámoló az Egyesült Nemzetek 1992. évi „Környezet és Fejlődés” Világkonferenciájára. / Magyar Nemzeti Bizottság. [Bp.]: Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, 1991.
- Pálvölgyi Tamás – Nemes Csaba – Tamás Zsuzsanna: Vissza vagy hova: Útkeresés a fenntarthatóság felé Magyarországon. Bp.: Tertia, 2002.
- Rowland, F. Sherwood – Molina, Mario J.: Ozone Depletion: 20 Years after the Alarm. *Chemical and Engineering News*, Vol. 72 (1994): 8–3.
- Somlyódy László: A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. Bp.: Magyar Tudományos Akadémia, 2002.
- Somlyódy László: Az értől az óceánig – a víz: a jövő kihívása. In: Mindentudás Egyeteme 1., Bp.: Kossuth K., 2003: 287–306.
- World Development Indicators. Washington: The World Bank, 1997.

